

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Strategie opracování tvarových ploch

Machining Strategy of Formative Surfaces

Student:

Radek Martynek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Martynek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Strategie opracování tvarových ploch**
Machining Strategy of Formative Surfaces

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současněho stavu frézování tvarových ploch.
2. Zhodnocení a rozbor frézování tvarových ploch v návaznosti na konstrukční návrh.
3. Zhodnocení a rozbor frézování tvarových ploch při různých strategiích.
4. Závěry pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I*. VŠB – TU Ostrava, 2008, 153 s., ISBN 978-248-1821-4.
SADÍLEK, M. Vyspělé strategie ve 3D frézování, *MM Průmyslové spektrum*, 2004, č.12, s. 46,47. ISSN 1212-2572.
SONETECH s.r.o.. *Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje - EdgeCAM - Frézování – EdgeCAM intelligent manufacturing*. Uživatelská příručka, 80 stran, pdf dokument, 2005.
SADÍLEK, M. *Zvyšování efektivity obrábění s využitím CAD/CAM systému-Disertační práce*. Ostrava: Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 123 stran, 23 příloh.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literatury.

V Ostravě 21.5. 2010



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB- TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111 / 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2010



Plné jméno autora práce

Radek Martynek

Jablunkov 601

739 91 Jablunkov

ANOTACE BAKALAŘSKÉ PRÁCE

MARTYNEK, R. *Strategie obrábění tvarových ploch: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 35 stran. Vedoucí práce: Sadílek, M.

Tato bakalářská práce na téma „Strategie opracování tvarových ploch“ se bude snažit přiblížit různé strategie pro obrábění tvarových ploch v CAD/CAM systému. Vhodnou volbou strategie obrábění lze dosáhnout snížení času obrábění, zlepšení povrchu obráběných ploch, zvýšení životnosti nástroje. V první kapitole práce jsou prezentovány nejčastěji používané 3D strategie pro obrábění tvarových ploch. Další část práce je určena rozborům a zhodnocení různých typu strategií aplikovaných na typických tvarových plochách.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MARTYNEK, R. *Machining Strategy of Formative Surfaces: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2010, 35 pages. Thesis head: Sadílek, M.

This bachelor thesis on "Machining strategy of formative surfaces" is going to bring different strategies for machining shaped surfaces in CAD/CAM system. Selection of appropriate treatment strategies may reduce the processing time, improving the surface of machined surfaces, longer tool life. In the first chapter presents the most frequently used strategies for 3D machining shaped surfaces. Another part is intended Analyses and evaluation of different type of strategy applied to the surfaces of typical shape.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK.....	8
0 ÚVOD	9
1 CÍLE.....	10
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU CAD FRÉZOVÁNÍ.....	11
2.1 Hrubovací strategie.....	11
2.1.1 Konturové hrubování	11
2.1.2 Lineární hrubování	11
2.1.3 Zbytkové hrubování	12
2.2 Dokončovací strategie	13
2.2.1 Konstant Z.....	13
2.2.2 Obrábění rovin	13
2.2.3 Řádkování	14
2.2.4 Paprsky.....	14
2.2.5 Mezi křivky	15
2.2.6 Rohový offset.....	15
2.2.7 3D křivka.....	16
2.2.8 Tužkové obrábění.....	17
2.2.9 Koutové obrábění.....	17
2.2.10 Zbytkové dokončování.....	18
2.3 Strategie frézování při obrábění naklopeným nástrojem.....	18
3 REALIZACE EXPERIMENTU	20
3.1 Schéma experimentu	22
3.2 Frézování mělké tvarové kapsy	23
3.3 Frézování vypuklého tvaru s mírným stoupáním	27
3.4 Frézování strmé tvarové kapsy.....	30
3.5 Frézování strmých tvarů.....	32

4	ZÁVĚR	34
5	LITERATURA.....	35

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

Značení	Význam	Jednotka
CAD	počítačem podporovaný návrh	[-]
CAM	počítačem podporovaná výroba	[-]
CIM	výroba integrovaná počítačem	[-]
CNC	počítačem číslicově řízený stroj	[-]
D	obráběný průměr	[mm]
HSC	vysokorychlostní obrábění	[-]
HSM	vysokorychlostní frézování	[-]
NC	číslícově řízený	[-]
PC	personální počítač	[-]
PDM	systém pro správu obecných dat o výrobku	[-]
SH	parametr nastavené výšky nerovnosti	[mm]
a_e	šířka řezu	[mm]
a_p	hloubka řezu	[mm]
d	průměr frézy	[mm]
f	posuv	[mm×min ⁻¹]
f_0	posuv na otáčku	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
n	otáčky frézy	[min ⁻¹]
r	poloměr frézy	[mm]
r_{eff}	skutečný (efektivní) rádius frézy	[mm]
v_c	řezná rychlost	[m×min ⁻¹]
$v_{c,eff}$	skutečná (efektivní) řezná rychlost	[m×min ⁻¹]
v_f	rychlost posuvu	[mm×min ⁻¹]
β	úhel nastavení nástroje	[°]

0 ÚVOD

V dnešní době je na firmy vyvíjen neustálý nátlak ze strany konkurence, to nutí konstruktéry a technology hledat stále nová řešení a potýkat se s novými problémy. Zkrácení výrobního času, zlepšení kvality a další aspekty, které musíme řešit. Východiskem pro řešení složitých situací, které se velmi často objevují v praxi, je požití CAD/CAM systému.

Nasazení počítačově řízených obráběcích strojů je základním krokem. Důležitý je kvalifikovaný operátor stroje a osoba technologa programátora, který je schopen na základě CAM systému připravit kvalitní programy. Rychlost a kvalita zaškolení zmiňovaných pracovníků závisí také na zvoleném CAD/CAM systému. Tento systém má programátorovi usnadnit práci, proto by měl být uživatelský nenáročný, přehledný, snadno ovladatelný.

Aplikace CAD/CAM systému umožňuje přístup konstruktérovi při vývoji výrobků, kdy tvorba výrobku je komplexní proces konstruování, testování, korigování chyb, modifikování výroby.

Při obrábění složitých tvarových ploch je velmi důležité zvolit vhodnou strategii obrábění, která dosáhne snížení času obrábění, zvýšení životnosti nástroje, zvýšení jakosti povrchu ale také nám z velké míry ovlivní rozměrovou přesnost obrábění. Je zřejmé, že zvolená strategie má velký vliv na výsledky obrábění, jakost obrobku a tedy také na ekonomické aspekty výroby [1].

Současné CAD/CAM systémy nabízejí řadu funkcí a vylepšení, které přispívají ke zvyšování jakosti obrábění. Největšího pokroku je dosaženo v preferovaných oblastech, kam patří zejména výroba forem, zápustek a jiných tvarově složitých součástí v různých odvětvích strojního průmyslu. Tato vylepšení zjednodušují práci technologa a zkracují čas tvorby programu i samotné výroby [1].

Ve své práci se zaměřím na použití obráběcích strategií, které jsou důležité pro opracování složitých tvarových ploch ve společnosti zabývající výrobou tvarově složitých součástí.

Společnost SWA s.r.o. se zabývá výrobou nástrojů pro automobilový průmysl, vyrábí nástroje a zařízení pro interiérové a akustické díly vozidel. Jedná se hlavně o nástroje lisovací, střižné a kaširovací. Tyto nástroje jsou obvykle tvarově složité.

1 CÍLE

V bakalářské práci se zabývám problematikou strategií opracování tvarových ploch. Cílem bakalářské práce je provedení experimentu, který je zaměřen na porovnávání různých obráběcích strategií 3-osé nebo víceosé, na daných typech tvarových ploch. Byly vybrány čtyři druhy tvarových ploch, tvary s mírným klesáním a stoupáním do 30° a tvary se strmým klesáním a stoupáním 60° a více.

V praxi je důležité při dokončovacím obrábění na čisto kulovou frézou nalezení optimálního kroku frézy pro požadovanou drsnost povrchu ve směru kolmém na posuv nástroje. Také je důležité nalezení optimálního posuvu nástroje a optimální frézovací strategie. Po provedení experimentu je možné doporučit programátorovi strategii, které dokáže zkrátit výrobní čas a zkvalitnit jakost obráběného povrchu.

Cílem bakalářské práce je:

- rozšíření dosavadních poznatků o technologiích využívajících CAD/CAM systémy,
- zhodnocení a porovnávání strategií obráběcích strategií tvarových ploch,
- nalezení optimální strategie frézování tvarových ploch,
- doporučení programátorovi CAM systému, která obráběcí strategie je nejvhodnější pro daný typ tvarové plochy,
- zkvalitnit výrobu ve společnosti SWA s.r.o.,
- poukázat na konkrétních příkladech, že používání vhodné obráběcí strategie sníží čas potřebný obrábění a zvýší kvalitu obráběného povrchu.

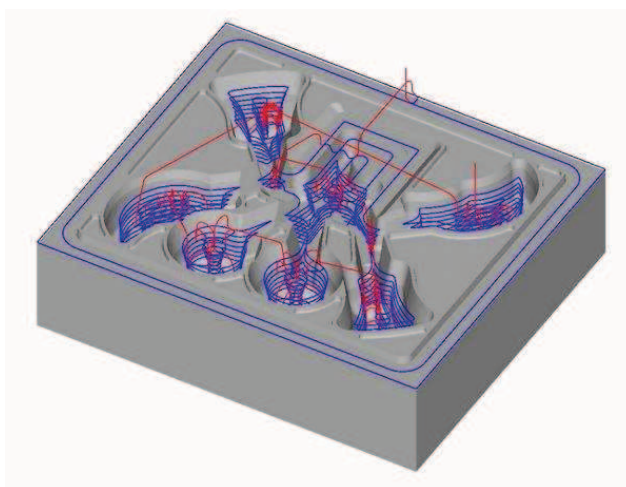
2 PŘEHLED SOUČASTNÉHO STAVU CAD FRÉZOVÁNÍ

V současné době je mnoho CAD/CAM systému, které mají různé obráběcí strategie, každý z těchto systému může mít různé označení. V této práci jsem vybral obráběcí strategie z CAD/CAM systému SolidCAM.

2.1 Hrubovací strategie

2.1.1 Konturové hrubování

Konturové hrubování je hlavní hrubovací strategií určenou pro efektivní odstranění velkého objemu materiálu. Série ekvidistantních drah v zadaných Z úrovních jsou generovány tak, aby docházelo k odstranění maximálního množství materiálu bez přerušení řezu. Hloubka řezu je automaticky upravována s ohledem na vodorovné rovinné plochy. Je podporováno zavrtání po šroubovici i rampování i nájezd podél tvaru. Dráhy nástroje jsou vyhlazené pomocí oblouků, což umožňuje použití vyšších posuvů a prodlužuje životnost nástroje. Konturové hrubování je doplněno o možnost detekce otevřených tvarů [2].

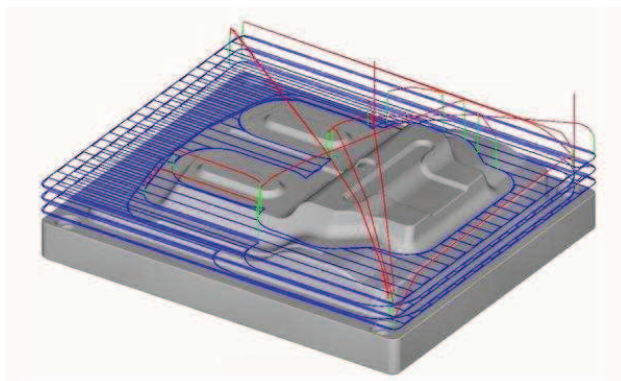


Obr. 1 Konturové hrubování [2]

2.1.2 Lineární hrubování

Lineární hrubování je hlavní hrubovací strategií určenou k odstranění velkého objemu materiálu malým nástrojem s minimálním stranovým překrytím stop nástroje. Stroj vykonává převážně přímkový pohyb, a proto je možné realizovat mezní řezné podmínky, které by byly v konturovém hrubování nedosažitelné. V takovém případě je NC-program kratší a přehlednější [2].

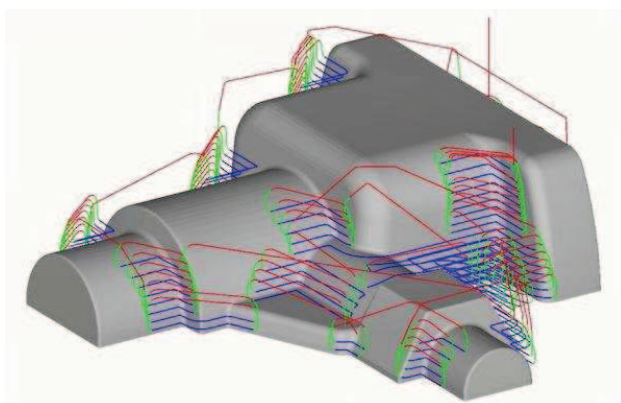
Vhodným nastavením směru drah lze využít vyšší dynamiky jedné z os stroje, nebo kombinaci os. Podrobné přizpůsobení této strategie je obdobné jako u konturového hrubování včetně adaptability kroku v ose Z [2].



Obr. 2 Lineární hrubování [2]

2.1.3 Zbytkové hrubování

Zbytkové hrubování odebírá zbytkový materiál po předchozích hrubovacích operacích z míst, do kterých se předchozí velký nástroj nevešel. SolidCAM HSM modul používá pro výpočet 3D zbytkový materiál vypočtený z porovnání aktuálního stavu obrobení s konečným tvarem. To umožňuje minimalizovat neproduktivní pohyby nástroje, při nichž není v záběru. U obrábění velkých součástí pak tato strategie umožňuje použití více hrubovacích operací s různými nástroji. Zbytkové hrubování lze také použít pro obrábění z tvarových polotovarů, jako jsou např. odlitky, výkovky atd. [2].

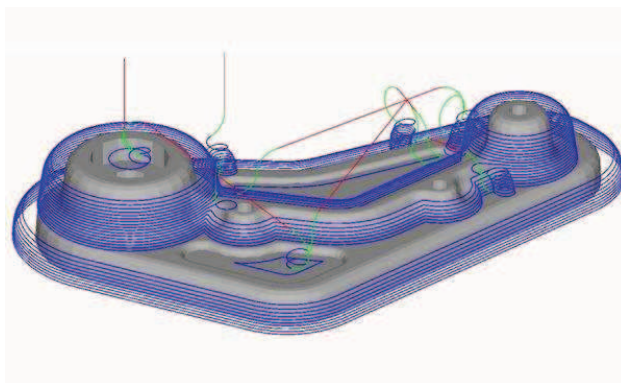


Obr. 3 Zbytkové hrubování [2]

2.2 Dokončovací strategie

2.2.1 Konstant Z

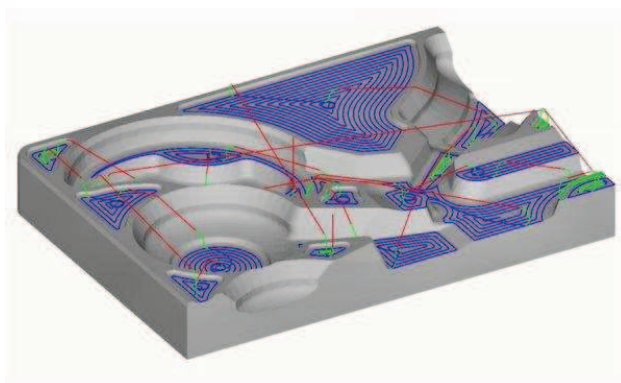
Dráhy Konstant Z vycházejí z rovnoběžných řezů tvarem v jednotlivých Z úrovních. Tato strategie je velmi vhodná pro předdokončování a dokončování strmých tvarů. Pomocí limitních úhlů lze omezit aplikování této strategie pouze na strmé plochy a pro obrobění zbylých ploch pak použít jinou, vhodnější strategii. Typická je kombinace s řádkováním. Obě operace se pak hladce propojují na hranici mezního sklonu tvaru. Dokončování bývá doplněno o zbytkové dokončování nebo koutové obrábění [2].



Obr. 4 Konstant Z [2]

2.2.2 Obrábění rovin

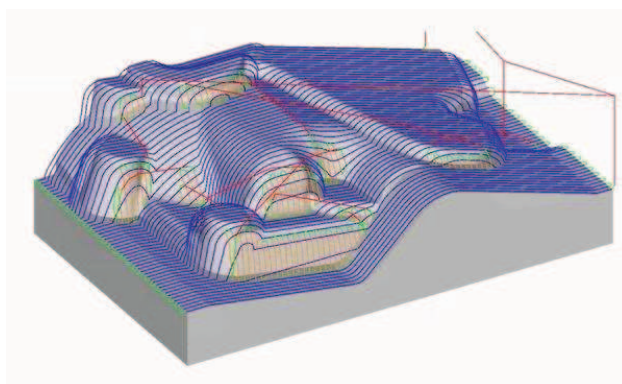
Obrábění rovin je strategie, která dokáže rozpoznat všechny vodorovné rovinné oblasti tvaru a pokrýt je ekvidistantními drahami odvozenými z hranice oblasti. Dráhy jsou plně vyhlazené, stejně jako u hrubovacích operací. Obdobně jsou aplikovány i způsoby zavrtání (po šroubovici, rampováním) a vyhlazení drah přejezdů nástroje. Uživatel má možnost obrobit tyto rovinné oblasti na libovolný počet úběrů [2].



Obr. 5 Obrábění rovin[2]

2.2.3 Řádkování

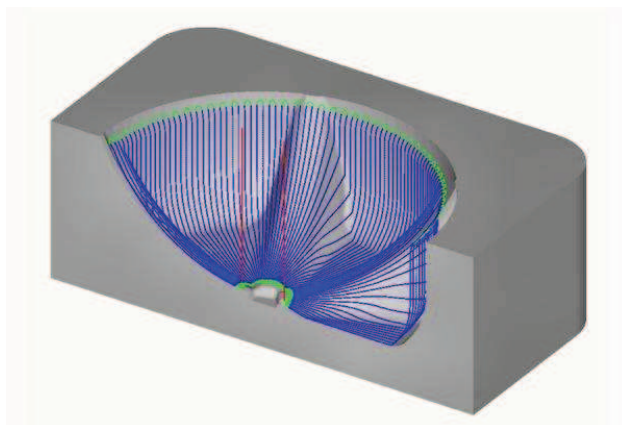
Řádkování je jedna z nejčastěji používaných dokončovacích strategií. Typicky je tato operace vhodná pro snížení hran po hrubování a pro dokončování plochých tvarů. Jednotlivé dráhy jsou vzájemně rovnoběžné ve směrech XY, ve směru Z pak kopírují obráběný tvar. Směr drah i jejich horizontální rozestupy jsou volitelné. Pro dokončení celé tvarové plochy lze také použít tzv. dokončení do kříže. Povrch je obráběn kolmo na předchozí dráhy, avšak pouze na tu část tvaru, která v předchozím kroku nezískala potřebnou drsnost [2].



Obr. 6 Řádkování [2]

2.2.4 Paprsky

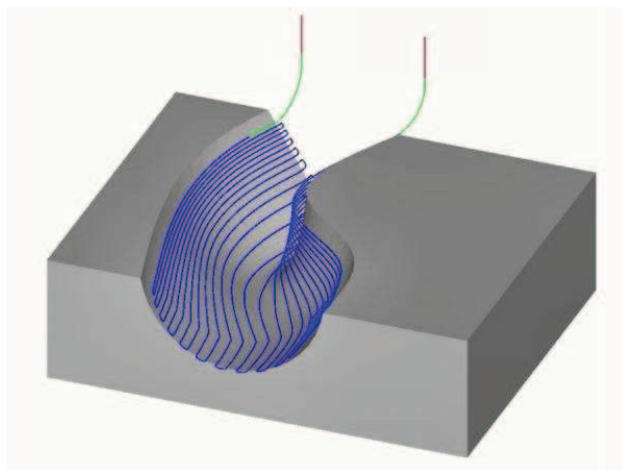
Paprskové obrábění nabízí uživateli speciální způsob obrábění pro součásti hvězdicovitého nebo kruhového charakteru. Všechny dráhy se sbíhají do středového bodu s možností vynechání blízké oblasti kolem středu, kde by jinak docházelo k přílišnému zahuštění drah. Tato strategie je ideální pro použití na tvary, které jsou tvořeny mělkými zakřivenými plochami, a na kruhové oblasti splňující podmínku kontaktního úhlu s nástrojem v rozmezí $0^\circ - 40^\circ$. Vynikajících výsledků se dosahuje při obrábění tvarů optických ploch [2].



Obr. 7 Paprsky [2]

2.2.5 Mezi křivky

Obrábění mezi křivkami generuje dráhu nástroje na základě hranic tvaru a směrových profilů. Dráhy probíhají skrze plochu souběžně s tvarem a ve směru odvozeném od průběhu okolních hranic. Každá dráha bere ohled na tvar té předcházející a přejímá některé charakteristiky dráhy následující, čímž dochází k plynulým změnám v tvaru drah. Obrábění mezi křivkami je vhodnou dokončovací strategií dosahující kvalitního povrchu a vysoké produktivity na mírně proměnlivých podélných tvarech se zakřiveným profilem toku [2].



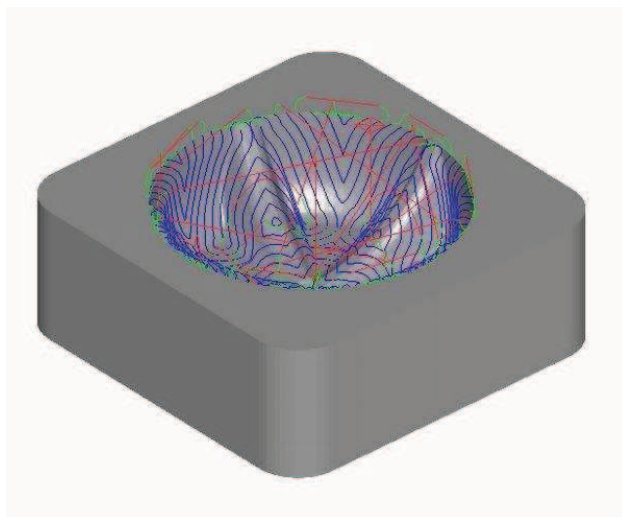
Obr. 8 Mezi křivky [2]

2.2.6 Rohový offset

Tato strategie je podobná strategii Konstantní krok. Vytvoří dráhu nástroje s ohledem na ostré kouty tak, aby pohyb nástroje probíhal souběžně s kouty. Může se tak

postupně přiblížit do náročné oblasti bez rizika výrazné změny řezných podmínek, jako je velikost opásání nástroje a množství odebíraného materiálu.

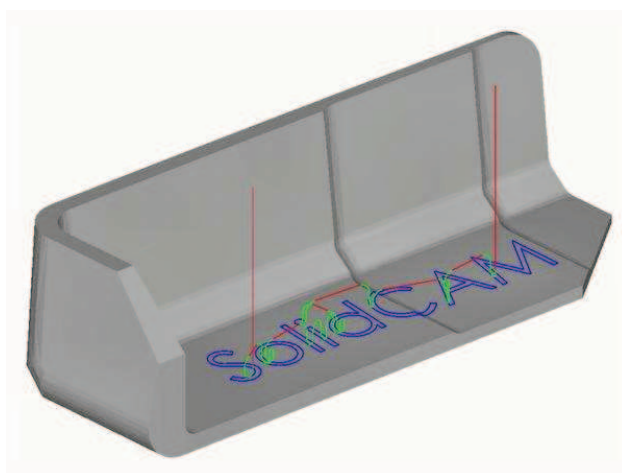
Nastavení rozdílného kroku dle zakřivení povrchu je silným prostředkem pro obrábění komplexních tvarů náročných projektů [2].



Obr. 9 Rohový offset [2]

2.2.7 3D křivka

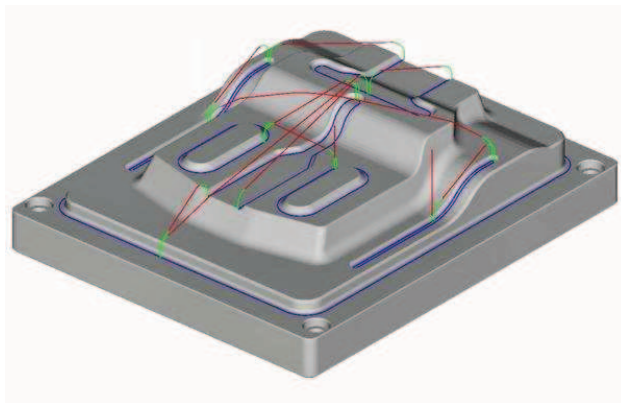
3D křivka vytváří dráhy tažením nástroje podél hranice nebo hranic promítnutých na plochu, podobně, jako je tomu u gravírování. Tato strategie se proto používá i pro gravírování textů. Dalším využitím je obrábění sražení podél hrany na 3D tvaru nebo detailní obrábění vtoků forem. Za použití záporného přídavku lze obrábět v konstantní hloubce od povrchu obráběné tvarové plochy [2].



Obr. 10 3D křivka [2]

2.2.8 Tužkové obrábění

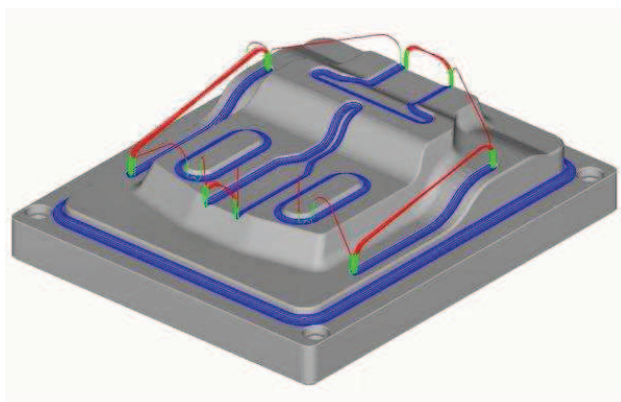
Pomocí strategie Tužkové obrábění lze vytvářet dráhy podél vnitřních rohů a koutů s malým zaoblením, tak, jak to nedokáže žádná jiná strategie. Tužkové obrábění se používá tam, kde je třeba odebrat materiál z koutů, do kterých se nevešel nástroj při předchozím obrábění. Je ideální pro případy, kdy vnitřní rádius rohu je stejný, jako rádius nástroje [2].



Obr. 11 Tužkové obrábění [2]

2.2.9 Koutové obrábění

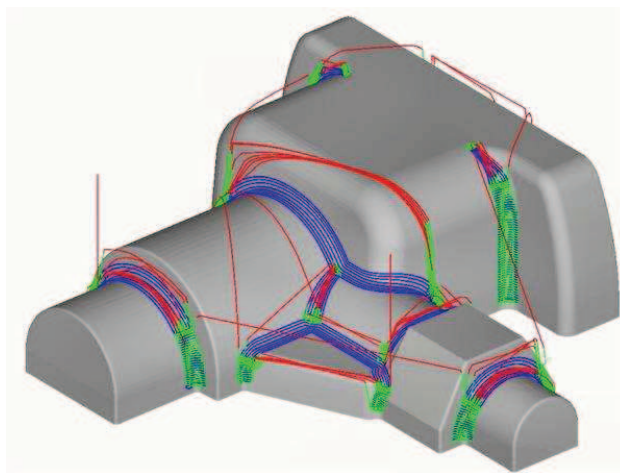
Koutové obrábění je rozšířením funkčnosti operace Tužkové obrábění. Uživatel má možnost zadat počet a velikost bočních kroků, které mají být provedeny při obrábění daných koutů na tvaru. To je velmi užitečné v případech, kdy nástroj z předchozí operace nebyl schopen obrobit vnitřní kouty na správný rádius. U této operace nástroj postupuje z vnějšku směrem dovnitř koutu, čímž je dosaženo lepší kvality povrchu [2].



Obr. 12 Koutové obrábění [2]

2.2.10 Zbytkové dokončování

Při tužkovém či koutovém obrábění vertikálních nebo strmých koutů může dojít k záběru jak radiusu nástroje, tak jeho válcové části, což výrazně zhoršuje řezné podmínky. Proto máme k dispozici strategii Zbytkové dokončování, která tyto strmé kouty rozliší a aplikuje na ně jinou strategii, podobnou Konstant Z obrábění, kdy nástroj postupuje shora dolů podél téměř vodorovných řezů (ve skutečnosti řezů kolmých ke sklonu koutu). Na mělké části je pak aplikována strategie vycházející z Koutového obrábění. To vše je prováděno v rámci jedné operace [2].

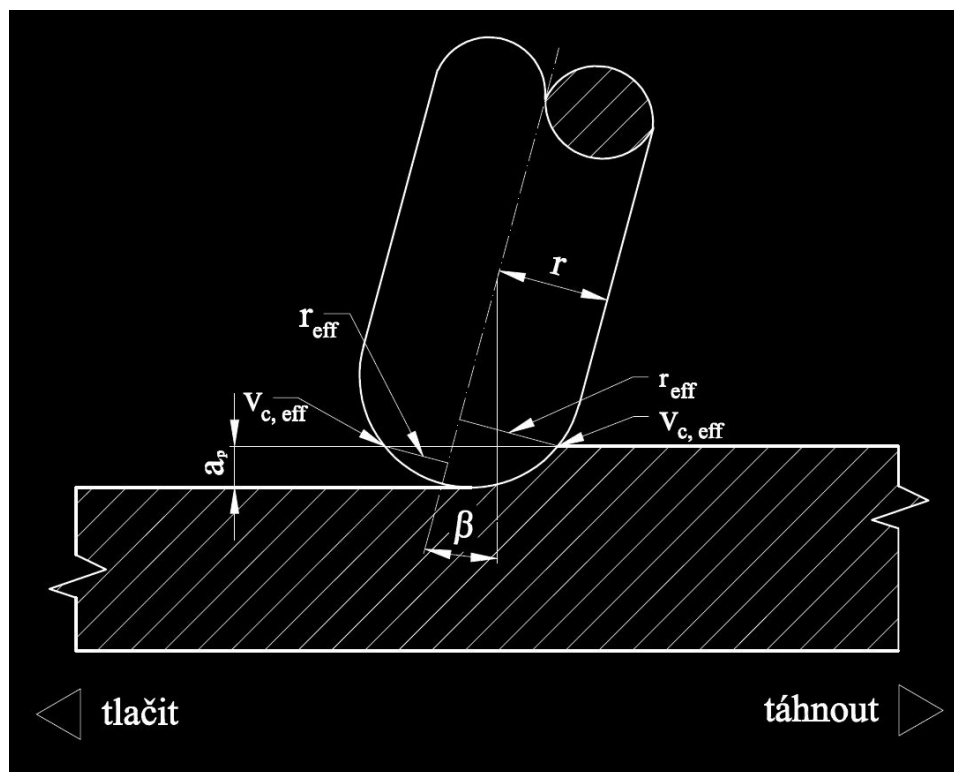


Obr. 13 Zbytkové dokončování

2.3 Strategie frézování při obrábění naklopeným nástrojem

Při frézování kulovými frézami standardním způsobem, kdy materiál a nástroj svírají pravý úhel, je na kulovém ostří v ose frézy nulová řezná rychlost. Díky tomu zde dochází k nežádoucím vlivům, jako je pěchování třísek, zvyšování teploty nebo tvorba nárůstku. Tyto jevy mají za následek zhoršení jakosti povrchu obráběného materiálu a snížení životnosti nástroje, případně jeho vyštípnutí. Zmíněné vlivy lze eliminovat naklopením nástroje [3].

Používá se úhel nastavení frézy mezi 10° až 20° , optimální bývá 15° . Kromě zvýšení skutečné řezné rychlosti (viz uvedený příklad) se zlepší i jakost povrchu a životnost nástroje. Velmi důležitý je též směr posuvu. Pokud je nástroj tažený, mají frézy tišší chod a zlepšuje se i povrch obráběného materiálu. Také použití sousledného frézování má na chod frézy a jakost povrchu velký vliv a zároveň zvyšuje životnost frézy [3].



Obr. 14 Obrábění pod úhlem kulovou frézou

Výpočet efektivního poloměru frézy při frézování nástrojem tlačným:

$$r_{eff} = r \times \sin \left[\arcsin \left(\frac{r - a_p}{r} \right) - \beta \right] \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

kde: a_p – axiální přísuv nástroje (hloubka řezu) [mm],

β – úhel nastavení nástroje [°],

r – poloměr frézy [mm],

r_{eff} – skutečný (efektivní) radius frézy [mm].

Výpočet efektivního poloměru frézy při frézování nástrojem taženým:

$$r_{eff} = r \times \sin \left[\arccos \left(\frac{r - a_p}{r} \right) + \beta \right] \text{ [mm]} \quad (1.2)$$

kde: a_p – axiální přísuv nástroje (hloubka řezu) [mm],

β – úhel nastavení nástroje [°],

r - poloměr frézy [mm],

r_{eff} – skutečný (efektivní) rádius frézy [mm].

Výpočet efektivní řezné rychlosti:

$$v_{c,eff} = \frac{n \times \pi \times 2 \times r_{eff}}{1000} [m \cdot min^{-1}] \quad (1.3)$$

kde: r_{eff} – skutečný (efektivní) rádius frézy [mm],

n – otáčky frézy [-],

$v_{c,eff}$ – skutečná (efektivní) řezná rychlost [$m \times min^{-1}$].

3 REALIZACE EXPERIMENTU

Táto práce je zaměřená k výběru vhodné strategie pro dokončovací obrábění tvarových ploch, jakož i optimálního nastavení parametrů ovlivňující čas a kvalitu obrobeného povrchu.

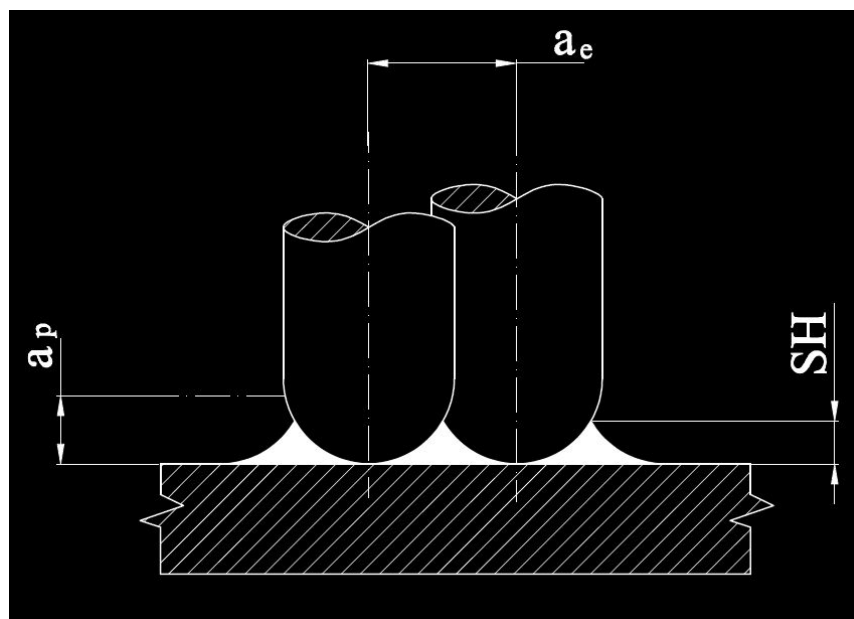
Byl dán návrh na čtyři druhy tvarový ploch s ohledem na použitelnost různých tvarů, budou aplikovány vybrané obráběcí strategie. Vše bude realizováno v CAD/CAM systému Catia V5 R19 pro 3osé i víceosé frézování. Jako první operaci bude hrubování, které bude hrubováno válcovou čelní stopkovou frézou průměru D=10 mm. Pro dokončovací operaci bude použita kulová fréza průměru D=10 mm.

V experimentu budou aplikovány strategie pro dokončovací operace, součásti budou hrubovány s přídavkem 0,2mm. Dále jsem se hrubováním nezaubíral.

Předvolené parametry:

- šířka řezu $a_e = 0,2 \text{ mm}$
- hloubka řezu $a_p = 0,2 \text{ mm}$
- otáčky $n = 10000 \text{ min}^{-1}$
- posuv $f = 5000 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$

Tyto parametry budou použity u všech strategií shodně.

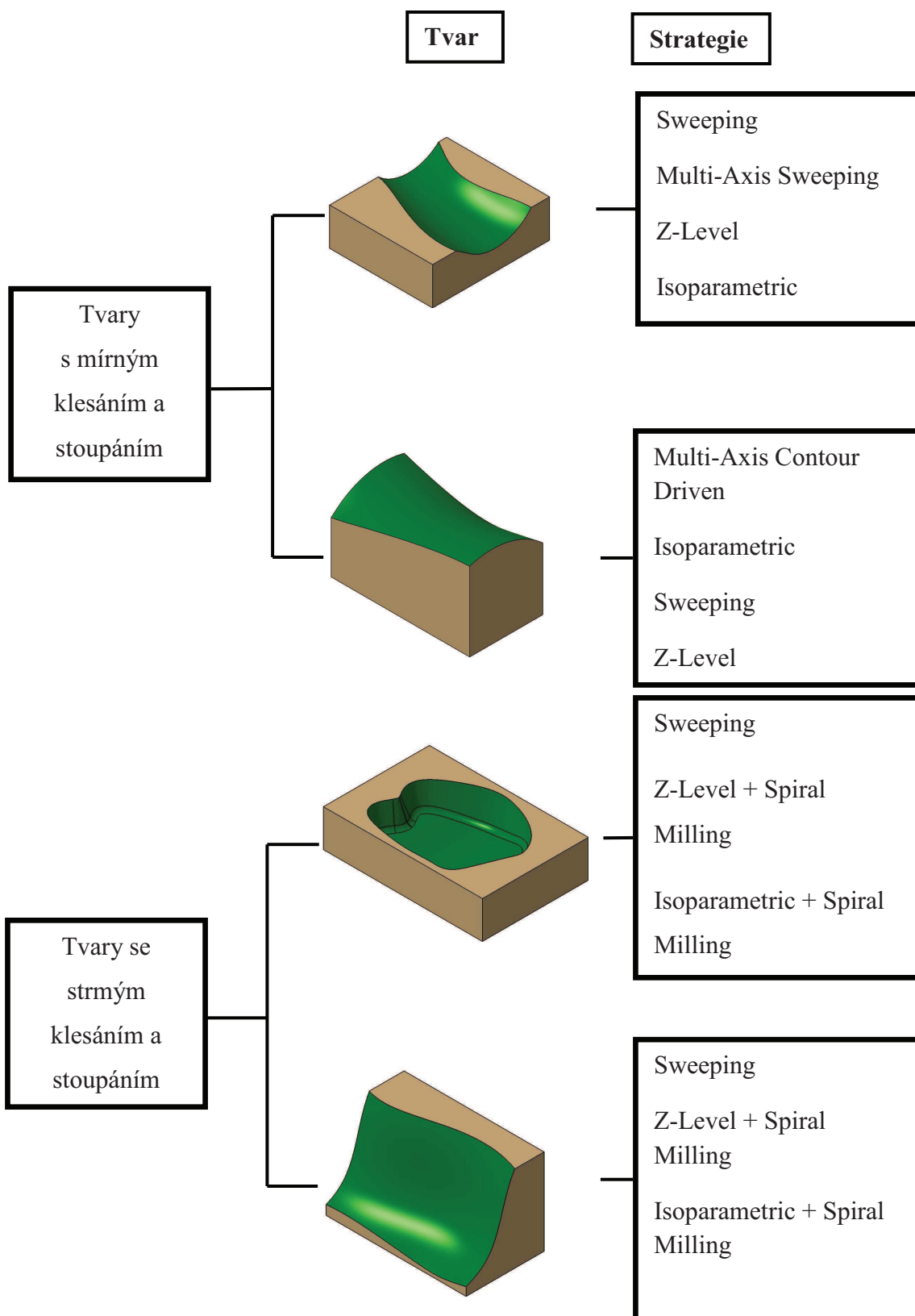


Obr. 15 SH (Scallop Height) – parametr nastavení výšky nerovnosti

Celkový stav obráběných ploch budou sledovány pomocí funkce analýza v daném programu, na kterém lze nastavit barevné rozlišení velikosti materiálu, který se nepracoval.

Bude zde použito názvosloví z CAD/CAM systému Catia V5R19 vzhledem k tomu, že každý systém má jiné názvy strategií.

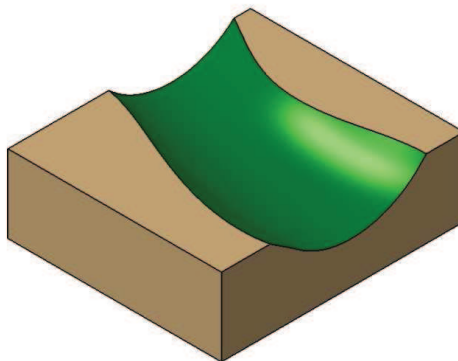
3.1 Schéma experimentu



Obr. 16 Grafické schéma realizace

3.2 Frézování mělké tvarové kapsy

K testování strategií frézování mělké tvarové kapsy byl zvolen tvar viz. obr.17, který má plochou pro obrobení 335 cm^2 .



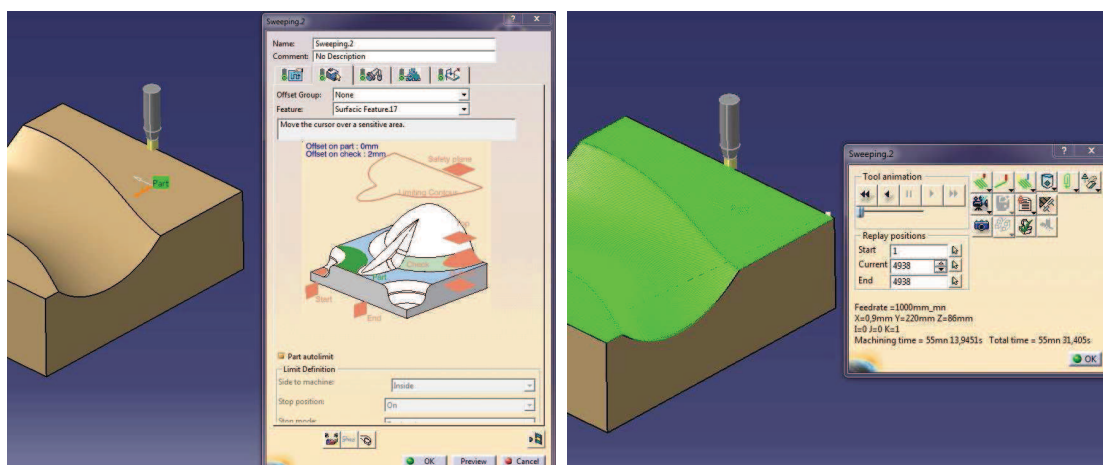
Obr. 17 Tvar mělké tvarové kapsy

Při opracování byly vybrány tyto strategie:

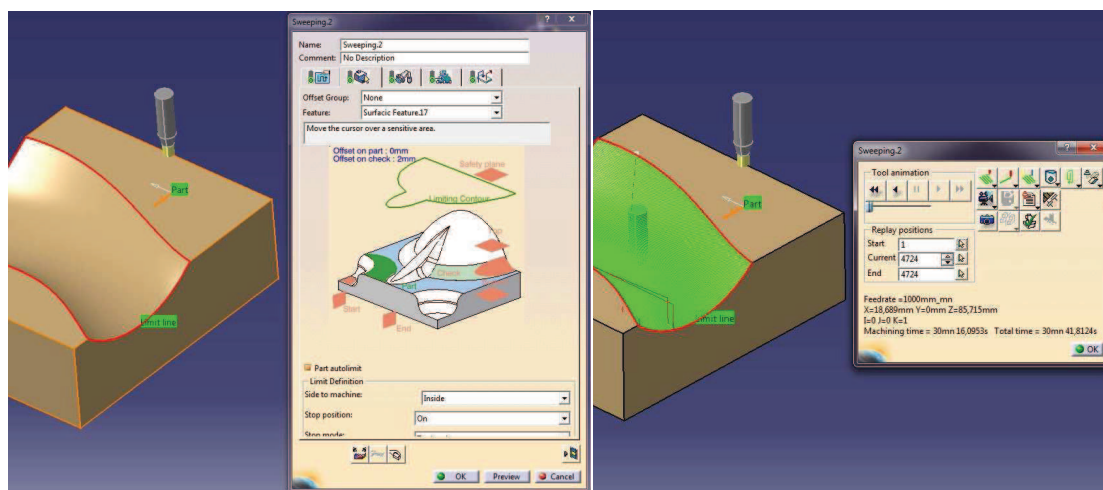
- Sweeping
- Multi-Axis Sweeping
- Z-Level
- Isoparametric

Sweeping (řádkování)

Jako první strategie byl zvolen Sweeping. Jde o obrobení tvarové plochy, přičemž nástroj se pohybuje paralelně s rovinou YZ. Bude poukazováno, jaký vliv má na čas obrobení plochy nesprávně definovanou geometrií obráběného tvaru.



Obr. 18 Nesprávný výběr obráběné plochy - nedefinovaná limitní křivka



Obr. 19 Správný výběr obráběných ploch - konkrétně definovaná limitní křivka

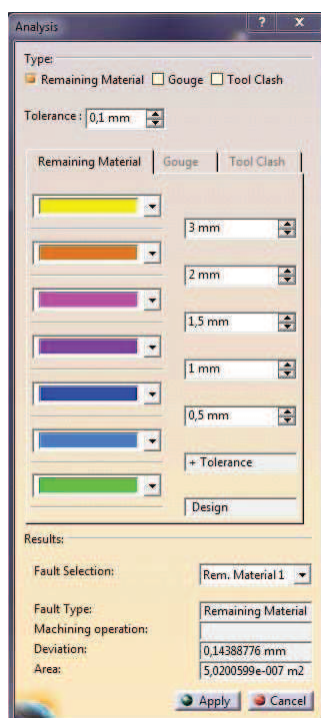
Na první pohled je zřejmé, že čas obrábění plochy 56 minut je příliš dlouhý. Na obr. 18 jsou znázorněny dráhy nástroje a na obr. 19 jsou plochy načisto. Je zřejmé, že nástroj obrábí rovinnou plochu „naprázdno“. Této situaci se dá předejít definováním limitní křivky, jako je na obr. 19, touto křivkou si vymežíme hranice obrábění, tím předejdeme tomu, aby nástroj nejezdil naprázdno. V tomto případě se čas zkrátí zhruba na polovinu, což je 31 minut. Tento případ jasně ukazuje, jak je důležité znát možnosti funkcí a jak důležitá je správné definování obráběného povrchu.

Multi-Axis Sweeping (víceosé řádkování)

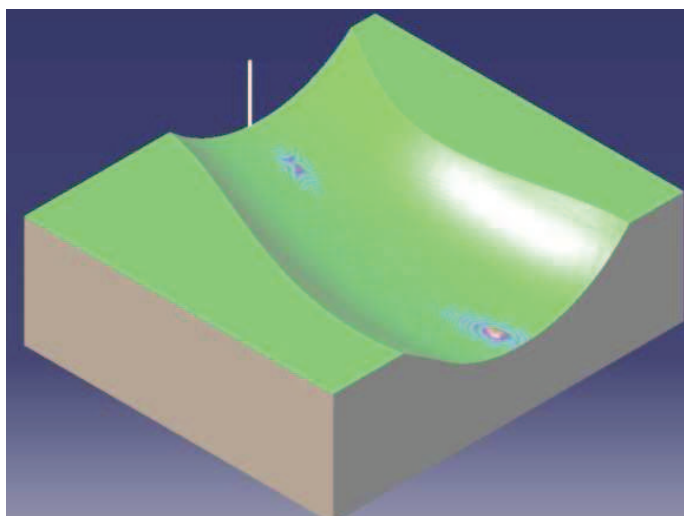
Tato strategie je obdobná strategii Sweeping s tím rozdílem, že strategie Multi-Axis Sweeping je pro 5-ti ose obrábění. Zde je možno nastavit osu frézovacího nástroje tak, aby osa byla stále kolmé k obráběné ploše, nebo pod určitým úhlem, který potřebujeme. Při použití této strategie byl čas potřebný pro obrábění 23 minut.

Z-Level (konstant Z)

Tato strategie není vhodná pro mělké kapsy, v tomto případě byl nastavený minimální úhel sklonu pro opracování 15° , tak aby nástroj obráběl spodní plochu. V programu Catia je funkce analýza obráběných ploch, kde si můžeme barevně označit množství materiálu, který zbývá odebrat viz. obr. 20.



Obr. 20 Tabulka barevné analýzy zbytkového materiálu

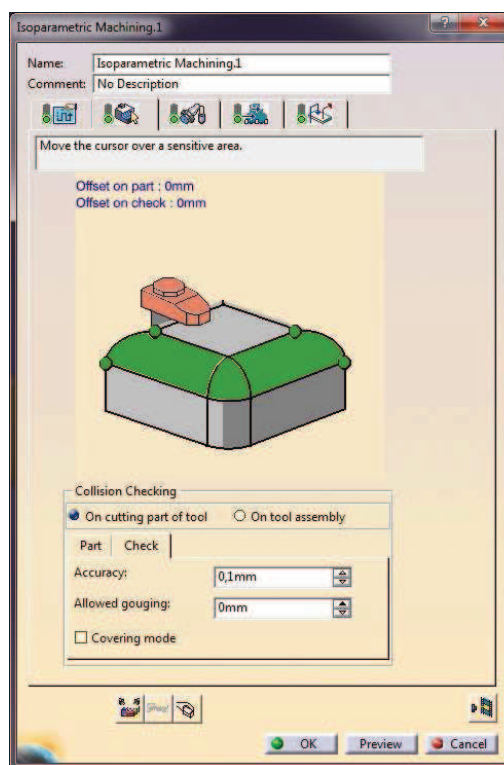


Obr. 21 Analýza zbytkového materiálu

Na obr. 21 jsou vidět dvě oblasti, na kterých po obrobení strategií Z-Level zůstává přes 2 mm zbytkového materiálu. Přičemž čas potřebný pro obrábění je 74 minut.

Isoparametric (iso-čáry)

Dráhy nástroje při této operaci jsou iso-čáry na dané ploše, která je ohraničená čtyřmi body viz. obr. 22.

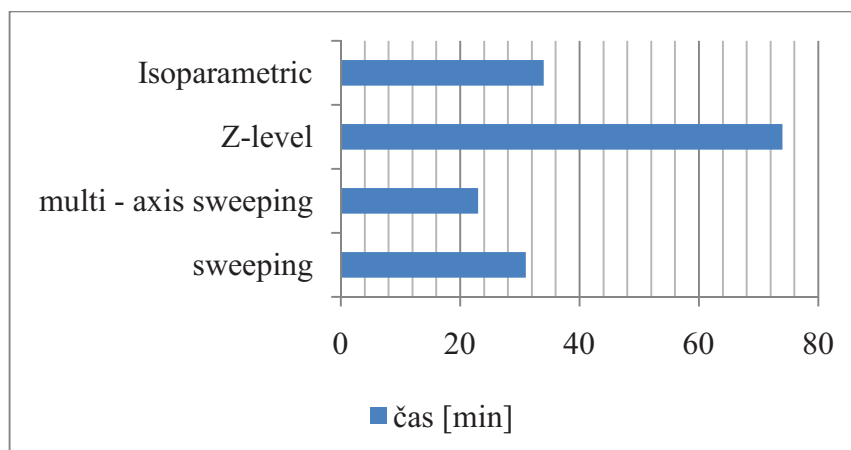


Obr. 22 Nastavení parametrů Isometrického obrábění

Při této strategii byl čas potřebný pro obrábění 32 minut.

Zhodnocení:

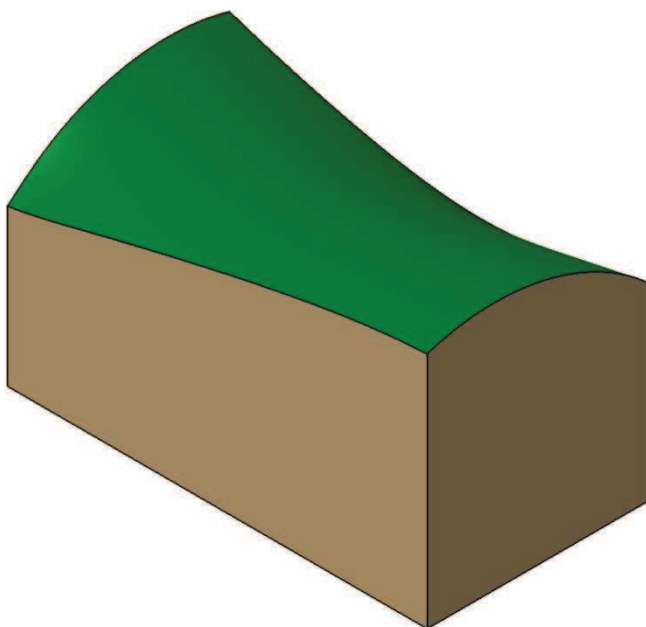
V tomto případě je možno použít všechny typy strategií kromě Z-Level, tato strategie není vhodná pro obrábění ploch s malým úhlem stoupání (klesáním). Nejrychlejší čas potřebný pro obrobení tvarové plochy zvládla strategie Multi-Axis Sweeping za 23 minut viz. obr. 23.



Obr. 23 Graf délky obrábění při použití různých strategií obrábění mělké kapsy

3.3 Frézování vypuklého tvaru s mírným stoupáním

Jako další typ plochy byl zvolen vypuklý tvar s mírným stoupáním viz. obr. 24, který má plochou pro obrobení 185 cm².



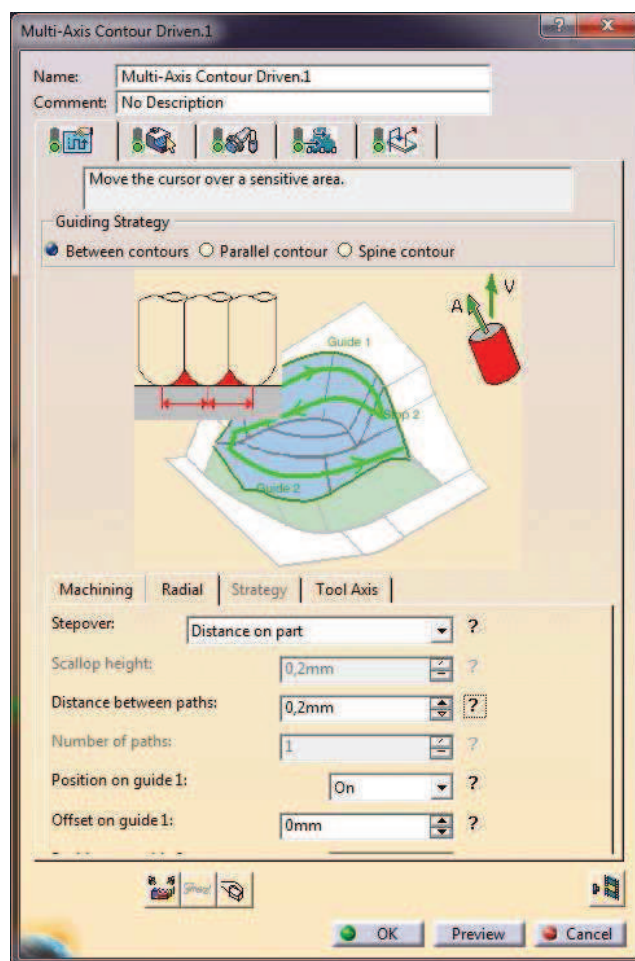
Obr. 24 Vypuklý tvar s mírným stoupáním

Při opracování byly vybrány tyto strategie:

- Multi-Axis Contour Driven
- Isoparametric
- Sweeping
- Z-Level

Multi-Axis Contour Driven (víceosé frézování podél řídicí křivky)

Při této strategii je nutno zadat obráběnou plochu a její limitní křivky. Následně je nutno vybrat konturu, kterou bude uzavřená křivka, osa nástroje bude stále kolmá k obráběné ploše.



Obr. 25 Definování operace Multi-Axis Contour Driven

Čas obrábění:

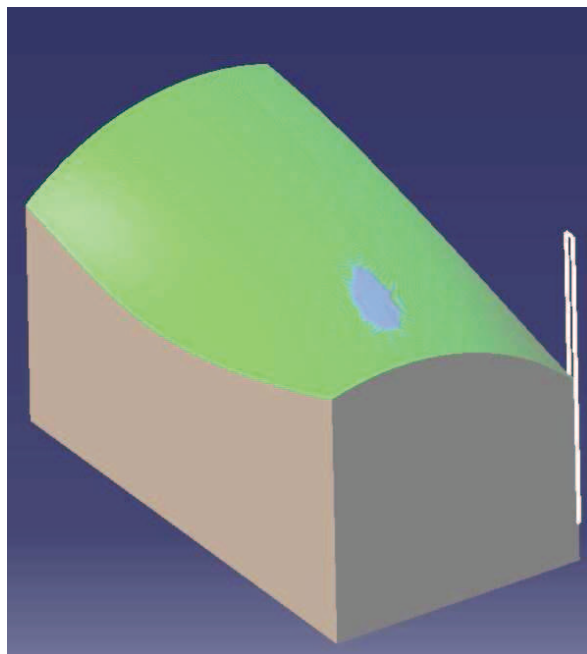
Multi-Axis Contour Driven 99 minut

Isoparametric 100 minut

Sweeping 90 minut

Z-Level

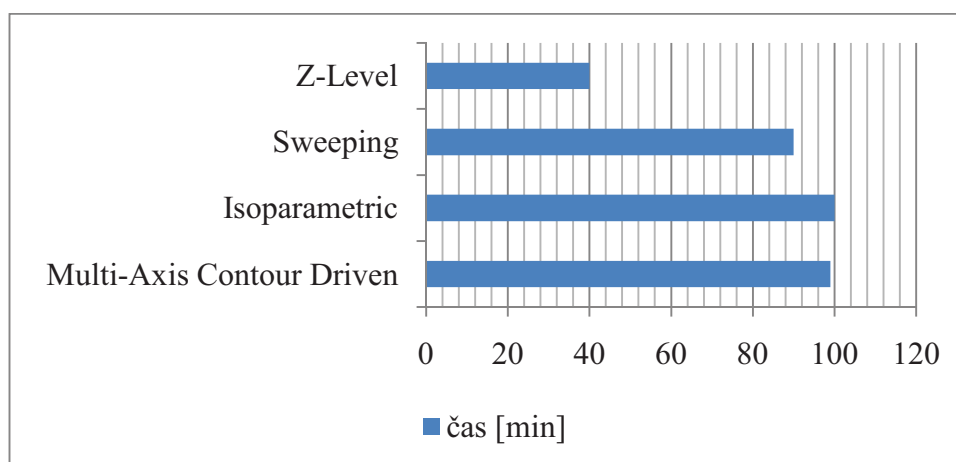
Při této strategii byl nastaven minimální sklon plochy 5° , což v tomto případě není zcela ideální řešení. V místech, s malý sklonem plochy jsou dráhy nástroje od sebe příliš vzdáleny, to nám sice zkrátí čas potřebný pro obrábění, který se pohybuje kolem 40 minut, ale kvalita povrchu se zhorší. Na obr. 26 je vidět oblast, na které po opracování zůstanou zhruba 0,3 mm zbytkového materiálu.



Obr. 26 Analýza zbytkového materiálu

Zhodnocení:

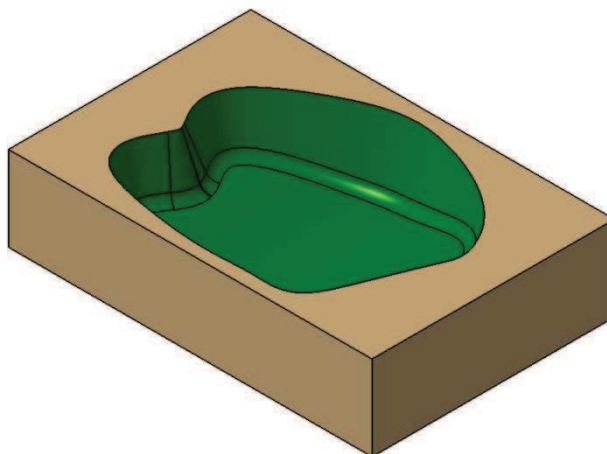
Pro tento typ plochy jsou v podstatě vhodné všechny použité strategie, ale hlavně rozhoduje čas potřebný pro obrábění. V případě použití strategie Z-Level, obrobená plocha nebude mít zcela ideální povrch.



Obr. 27 Graf délky obrábění při použití různých strategií obrábění vypuklého tvaru s mírným stoupáním

3.4 Frézování strmé tvarové kapsy

Zde byl vybrán tvar kapsy se strmými plochami tak, aby bylo možné použít kombinací různých strategií viz. obr. 28 a plochou pro obrobení 117 cm^2 .



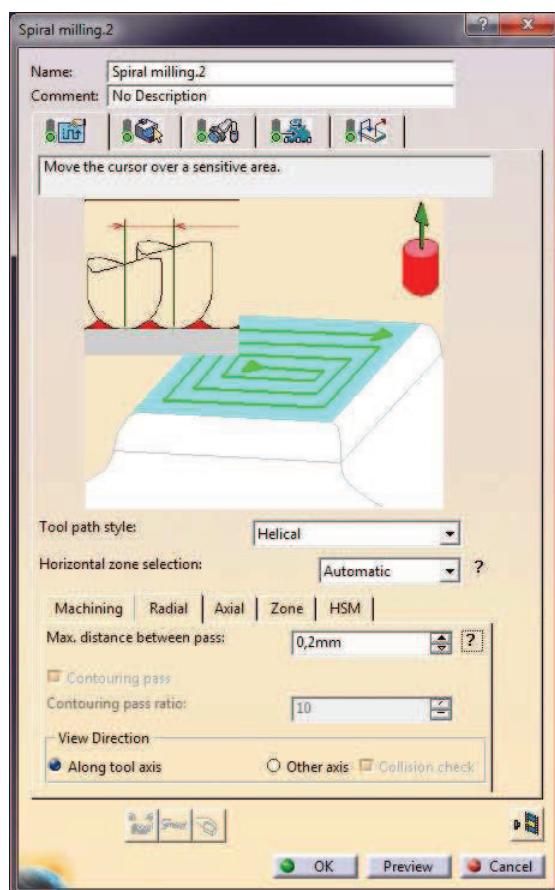
Obr. 28 Strmá kapsa

Při opracování byly vybrány tyto strategie:

- Sweeping
- Z-Level + Spiral Milling
- Isoparametric + Spiral Milling

Spiral Milling (spirálové-rovinné)

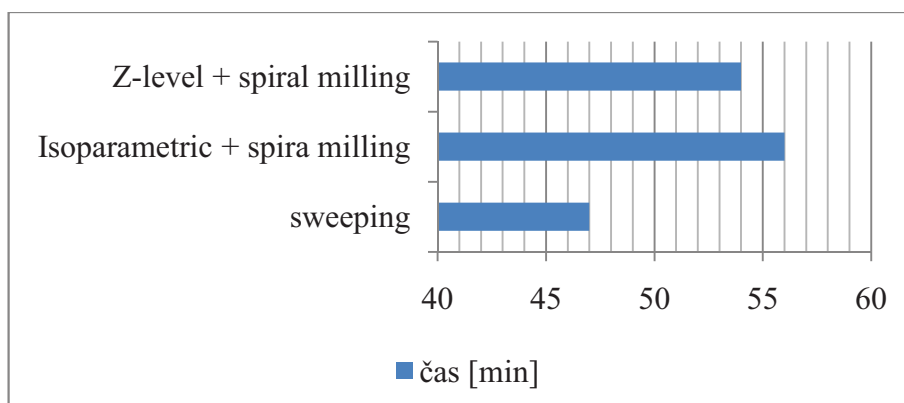
Tato strategie se používá pro obrábění horizontálních ploch, ale může být použita i pro plochy pod úhlem, který si zvolíme.



Obr. 29 Dialogové okno strategie Spiral Milling

Zhodnocení:

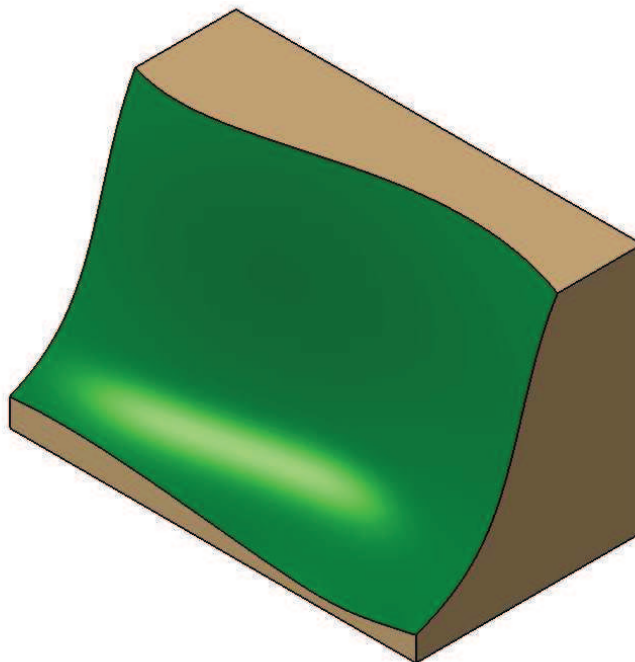
U strategií, které byly použity pro obrábění strmé tvarové kasy se neobjevily žádné větší rozdíly v kvalitě povrchu, vždy byl povrch v požadované toleranci. Při obrábění strategií Sweeping bylo dosaženo nejkratšího času potřebného pro obrábění 47 minut. Při použití kombinace strategií Z-Level + Spiral Milling to bylo 54 minut a při použití kombinace strategií Isoparametric + Spiral Milling to bylo 53 minut.



Obr. 30 Graf délky obrábění při použití různých strategií obrábění strmé tvarové kapsy

3.5 Frézování strmých tvarů

Jako poslední případ tvarové plochy byla vybrána plocha se strmým klesáním viz. obr. 31 a plochou pro obrobení 230 cm².



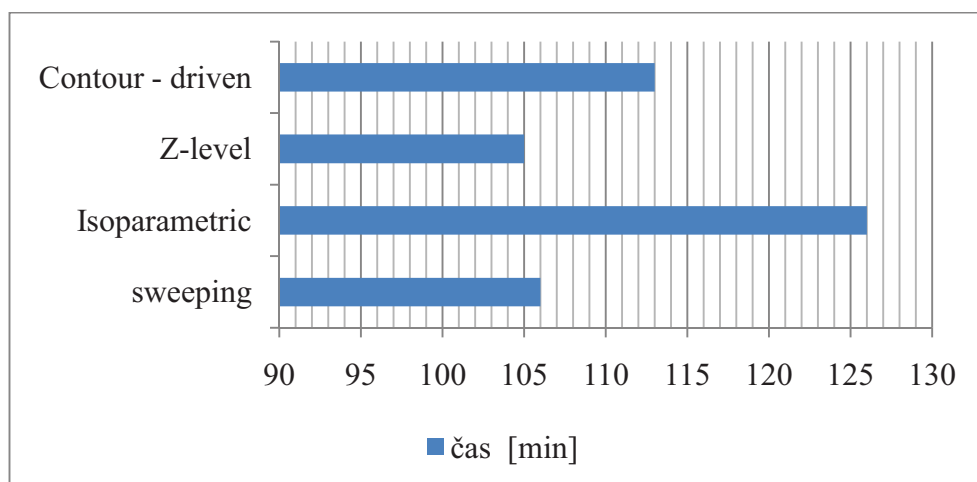
Obr. 31 Strmá plocha

Při opracování byly vybrány tyto strategie:

- Sweeping
- Z-Level
- Contour – driven
- Isoparametric

Zhodnocení:

Povrch opracovaných ploch při použití všech strategií byl téměř shodný. V tomto případě bylo nutné nástroj pootočit o určitý úhel tak, aby osa nástroje byla kolmá na obráběnou plochu. Čas potřebný pro opracování strategií Z-Level byl 105 minut, Sweeping 106 minut, Contour-driven 113 minut, Isoparametric 126 minut. Z časového hlediska by nejvíc vyhovovala strategie Z-Level.



Obr. 32 Graf délky obrábění při použití různých strategií obrábění strmé plochy

4 ZÁVĚR

V dnešní době je velký rozkvět výroby modelů, forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástí. Pro to aby se tato výroba zdokonalovala, je třeba použít nejmodernějších numericky řízených CNC strojů a také CAD/CAM systému. Vyspělé CAD/CAM systémy umožňují použití nových technologií a postupů, kterými lze docílit zvýšení efektivnosti obrábění. Použitím vhodných strategií obrábění lze dosáhnout snížení času obrábění, zvýšení životnosti nástroje a zlepšení kvality povrchu. Různé strategie mohou také ovlivňovat rozměrovou přesnost obrábění.

V experimentu této práce bylo úkolem poukázat na různé druhy strategií v obrábění tvarových ploch, kde byly vybrány čtyři základní druhy tvarových ploch, na tyto tvarové plochy byly následně aplikovány různé obráběcí strategie. Byly zjištěny časové rozdíly v obrábění a pomocí analýzy v CAM systému byla zjišťována kvalita obrobeneho povrchu, tato analýza dokáže určit a barevně rozlišit oblasti, ve kterých po obrobení je více materiálu než byla zadaná tolerance.

Moderní CAD/CAM systémy dokážou pomocí jedné aplikace určit nejvhodnější strategii. V této oblasti by programátor měl mít dokonalou znalost jednotlivých parametrů a přepínačů, jakož i definování správné strategie dráhy nástroje, které mají vliv na čas obrábění a ekonomiku provozu.

Uvedené výsledky a závěry jsou jakýmsi vodítkem pro začínající CAD/CAM technology programátory vytvářející NC programy pro frézování tvarových ploch.

Do budoucna si kladu za úkol pokračovat v aplikování strategií pro obrábění tvarových ploch, především pro vícero obrábění tvarových ploch. Strategie bych chtěl aplikovat na plochách, které jsou složené ze všech typů tvarových ploch. V tomto bych chtěl pokračovat, měl by to být cíl mé další práce.

5 LITERATURA

- [1] SADÍLEK, Marek. *Vyspělé strategie ve 3D frézování*. MM Průmyslové spektrum, 2004, č. 12, s. 46,47 ISSN 1212-2572
- [2] *SolidCAM* [online]. 2009 [cit. 2010-05-02]. HSM obráběcí strategie. Dostupné z WWW: <<http://www.solidcam.cz/article.asp?nDepartmentID=7&nArticleID=92&nLanguageID=1>>.
- [3] JASPAR, Jiří. *Nové hvězdy mezi frézami pro nástrojárny a výrobce forem*. MM Průmyslové spektrum, 2003, č. 05, s. 46. ISSN 1212-2572.
- [4] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘSKOVSKÁ, L. *Technologie II 1.díl*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. 119 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 1641 - 8
- [5] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘSKOVSKÁ, L. *Technologie II 2.díl*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 1822 - 1
- [6] SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 145 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 1821 - 4
- [7] FABIÁN, Michal; KAŤUCH, Peter; KOVÁČ, Jozef. *Vliv nastavení parametrů CAM na kvalitu povrchu frézované rovinné plochy* [online]. 2009 [cit. 2010-04-18]. CAD.CZ. Dostupné z WWW: <<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1402-vliv-nastaveni-parametru-cam-na-kvalitu-povrchu-frezovane-rovinne-plochy.html>>.
- [8] FABIÁN, Michal. *Optimalizace frézování dutiny formy* [online]. 2009 [cit. 2010-03-14]. CAD.CZ. Dostupné z WWW: <<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1444-optimalizace-frezovani-dutiny-formy.html>>.
- [9] CIMR, Ivan. *Speciální modul pro obrábění tvarových ploch*. MM Průmyslové spektrum, 2010, č. 6, s. 52
- [10] *DYTRON.CZ* [online]. 2009 [cit. 2010-05-01]. CATIA V5. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php?druh=8&ukol=1>>.